

EVALUACIÓN TÉRMICA DE DISTINTAS CONFIGURACIONES PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA CON UN CONCENTRADOR SOLAR [#]

V. Aramburu¹, N. Díaz¹, A. Iriarte² y L. Saravia^{2,3}

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca
Avda. Belgrano 300, C.P. 4700, vmaramburu@yahoo.com.ar

RESUMEN. En este trabajo de carácter experimental se describe el comportamiento térmico de un equipo solar para la producción de agua caliente que tiene por componente principal un concentrador solar parabólico de foco profundo. Se presentan los resultados para diferentes disposiciones de las conexiones principales de agua. Se trabaja con un tanque de almacenamiento a la altura de una vivienda tipo, aislado térmicamente y conectado directamente a la caldera del concentrador. Durante los ensayos realizados, de cuatro horas cada uno, se determinaron diferentes perfiles de la temperatura en el interior del tanque de almacenamiento para las distintas configuraciones utilizadas. Los resultados obtenidos permiten afianzar la hipótesis de la utilidad del concentrador como mecanismo de captación e integrarlo a un sistema de calentamiento de agua, y obtener así agua caliente a temperatura media óptima para diferentes actividades domésticas en comunidades urbanas y rurales.

Palabras Clave: energía solar, calentamiento de agua, perfil de temperatura.

INTRODUCCIÓN

La promisorio escasez de recursos convencionales para satisfacer la creciente demanda de energía en comunidades urbanas y rurales, suscitan el estudio y adaptación de nuevos desarrollos tecnológicos que empleen recursos renovables. En este marco, se fortalece el progresivo desarrollo y la inserción social de instalaciones solares térmicas, principalmente destinadas al calentamiento de agua en viviendas.

De los diversos problemas sociales que están presentes en nuestra región, muchos de ellos hallan un espacio de soluciones en el campo de la energía solar. En cierto modo, se trata de elevar la calidad de algunos sectores sociales que no tienen a su alcance bienes y servicios para llegar a adecuadas condiciones salud, vivienda, alimentación, trabajo y, en general, educación.

Si bien en el diseño de equipos tecnológicos para calentamiento de agua es necesario tener en cuenta la confiabilidad en su manejo, también es cierto que deben cumplir con requisitos relacionados con rendimiento, durabilidad, prestaciones en el modo de satisfacer las necesidades, fiabilidad, conformidad a estándares, y calidad percibida.

En este trabajo se utiliza un equipo de calentamiento de agua que emplea como mecanismo de captación un concentrador de foco profundo y un tanque de acumulación situado a la altura de una vivienda tipo. El proceso de calentamiento se realiza por efecto termosifón, siendo el movimiento del fluido por convección natural el fenómeno físico que prevalece.

Si bien en trabajos anteriores, (Aramburu et al., 2006), se ha comprobado la hipótesis de la posibilidad de incorporar un concentrador de foco profundo como parte integrante del mecanismo de captación de energía en un equipo solar de calentamiento de agua para uso doméstico, persiste la idea de modificar la disposición de algunas partes constituyentes del equipo diseñado con el objeto de observar su efecto en la estratificación de la temperatura en el tanque de acumulación. Es importante tener en cuenta que la función asignada a este tipo de calentador de agua es de obtener agua caliente durante el periodo que no se usa el concentrador para la cocción u horneado de alimentos, tratándose de un uso complementario del concentrador.

En virtud de ello en este trabajo se presentan los resultados preliminares de los diferentes perfiles de temperatura obtenidos para tres configuraciones distintas asociadas al modo de realizar las conexiones de entrada de agua desde la caldera hacia el tanque de acumulación.

[#] Parcialmente financiado por UNCa, PFIP, PDL

¹ Becario de la UNCa

² Investigador del CONICET

³ INENCO, UNSa

MATERIALES Y MÉTODO

Equipo solar de calentamiento de agua

Las partes constituyente del equipo utilizado se muestra en la Figura 1. En la misma se observa la posición relativa entre el concentrador y el tanque de acumulación.

El concentrador utilizado, (Saravia, 2004), como mecanismo de captación es de tipo parabólico y esta soportado por una estructura metálica que permite su manejo y orientación. El área de apertura del concentrador de foco profundo es de $2,2 \text{ m}^2$ aproximadamente. Una parte importante lo constituye una pequeña caldera cilíndrica que acopla el concentrador con el tanque de acumulación. La misma se opera por la parte posterior, desde donde se disponen sendas conexiones para la entrada y salida del agua. La caldera, de 10 cm. de diámetro y 34 cm. de longitud, tiene una capacidad aproximada de 2,7 litros, aproximadamente.



Figura 1. Vista concentrador-calentador solar domestico de agua

Este circuito cerrado se completa con el tanque mencionado que tiene una capacidad de doscientos litros y cumple la doble función de alimentar la caldera con agua fría y almacenar el agua caliente, una vez que ésta ha pasado por aquella.

Para evitar las pérdidas de energía en el equipo se toman los siguientes recaudos: aislar las mangueras de conexión y el tanque de acumulación utilizando materiales apropiados (lana de vidrio, poliuretano expandido) y proteger la caldera de la acción del viento utilizando una cubierta de vidrio pirex. Esta cubierta además de evitar las pérdidas de calor por acción del viento, favorece el proceso de calentamiento de la caldera.

Metodología de Trabajo

Para determinar el perfil de temperatura dentro del tanque de acumulación se dispuso la entrada de agua caliente al tanque de acumulación de tres modos diferentes. En todos los casos la conexión de alimentación de agua fría desde el tanque hacia la caldera es la misma. Las variantes se realizaron con el ingreso de agua caliente desde la caldera hacia el tanque de acumulación.

La primera configuración consiste en realizar la conexión de entrada de agua al tanque de acumulación en la mitad del mismo. De este modo, el agua por encima de la conexión tiene un volumen de 100 litros. En la Figura 2 se ilustra esta situación.

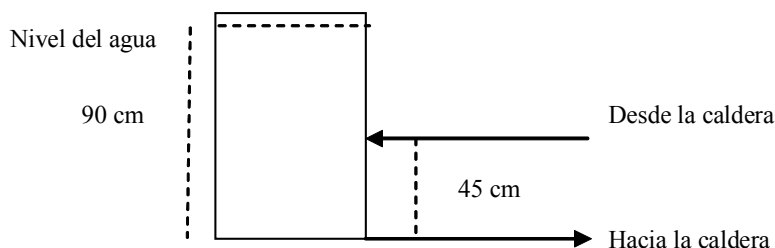


Figura 2. Disposición de las conexiones de agua entre el tanque de acumulación y la caldera: Configuración 1.

En la segunda configuración, se dispone la entrada de agua hacia el tanque de acumulación a 10 cm por debajo de la superficie libre del agua. Este caso se ilustra en la Figura 3.

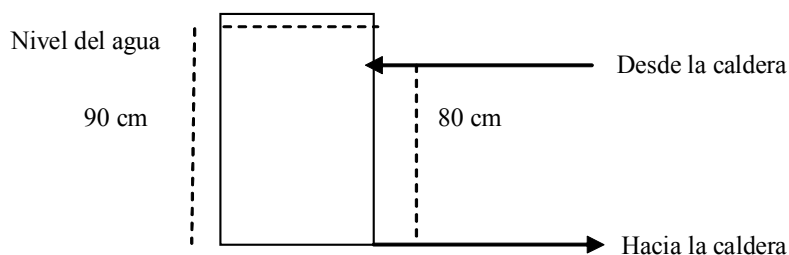


Figura 3. Disposición de las conexiones de agua entre el tanque de acumulación y la caldera: Configuración II.

En la tercera configuración, la entrada de agua caliente coincide con el nivel libre del agua. Figura 4.

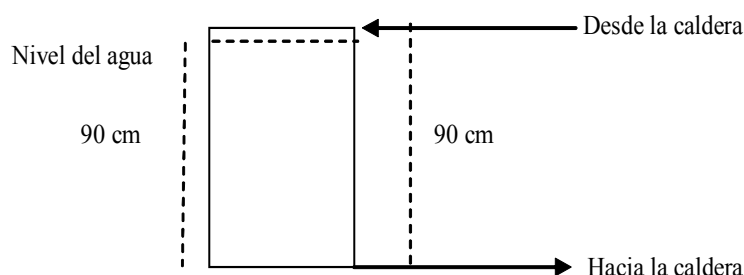


Figura 4. Disposición de las conexiones de agua entre el tanque de acumulación y la caldera: Configuración III.

En todas las configuraciones utilizadas se procedió a llenar el tanque con agua a temperatura de la red; luego se disponen las conexiones de agua según cada caso y finalmente se procede a orientar el concentrador.

En todos los casos, el proceso de calentamiento consiste básicamente en permitir la circulación de agua, por efecto termosifón, entre la caldera y el tanque de acumulación. Al elevarse la temperatura en la caldera, se inicia el proceso de convección natural, en el que está presente un intercambio de energía a nivel molecular.

Si el flujo es laminar la transferencia de energía entre la superficie y el fluido es por contacto molecular; si el flujo es turbulento entonces existe un mezclado de partículas de fluido entre regiones a diferentes temperaturas lo que incrementa la rapidez de transferencia de calor.

En este trabajo el papel principal lo desempeña el proceso de convección natural. Este resulta de las fuerzas impuestas sobre el fluido por diferentes causas: por la diferencia de densidad o de peso específico que aparece debido a las diferentes temperaturas. Esto produce que el fluido más frío circule hacia abajo y el más caliente hacia arriba, produciendo una corriente ascendente.

En esta consideración participa la fuerza de gravedad. Las partículas líquidas o gaseosas tienen movimientos relativos continuos que aumentan con el incremento de su estado térmico. Este movimiento transporta la energía calorífica en forma de energía cinética mientras se desplaza la partícula y va colisionando con las que encuentra en su camino, y éstas hacen lo mismo, observándose una convección a nivel molecular.

Las mediciones de temperatura en el interior del tanque de almacenamiento se realizaron utilizando termopares de cromel-alumen, dispuestos de modo equidistantes desde el nivel libre del agua y según un eje longitudinal que pasa por el centro del tanque.

De este modo se puede testear la temperatura del agua en cinco subvolúmenes, aproximadamente, de 45 litros cada uno, y así, durante el tiempo de las experiencias realizadas, permite efectuar un seguimiento del proceso de estratificación para obtener una idea de los diferentes perfiles de temperatura. Así con cada termopar se registra la temperatura a la mitad de cada porción de volumen. La disposición mencionada se muestra en la Figura 5.

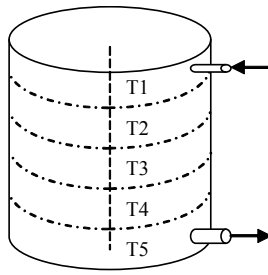


Figura 5. Sentido de la circulación del agua y disposición de termopares de en el depósito de almacenamiento de agua.

Para tener un parámetro de comparación, los ensayos se realizaron con características similares. La duración fue de aproximadamente cuatro horas cada uno, en días de escasa nubosidad y con niveles de radiación solar aceptables. La operación del concentrador, de orientación permanente, y los registros de la temperatura del agua en el tanque de acumulación, de la temperatura ambiente, y de la radiación solar, se realizaron con la misma frecuencia: cada 15 minutos.

Una esquematización general del equipo se muestra en la Figura 6. La altura de trabajo se fijó teniendo en cuenta la de una vivienda tipo de la zona de Puna o prePuna y considerando que es suficiente para la distribución del agua caliente para usos domésticos y productivos.

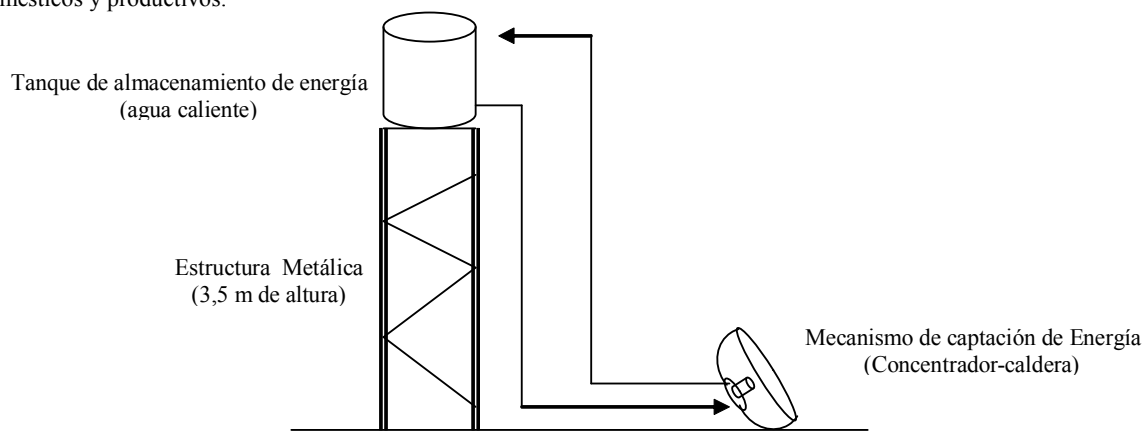


Figura 6. Disposición general del equipo utilizado en los diferentes ensayos.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las diferentes instancias de este trabajo se discuten a continuación: En la configuración I, los perfiles de temperaturas y radiación registrados son los que se muestran en le Figura 7.

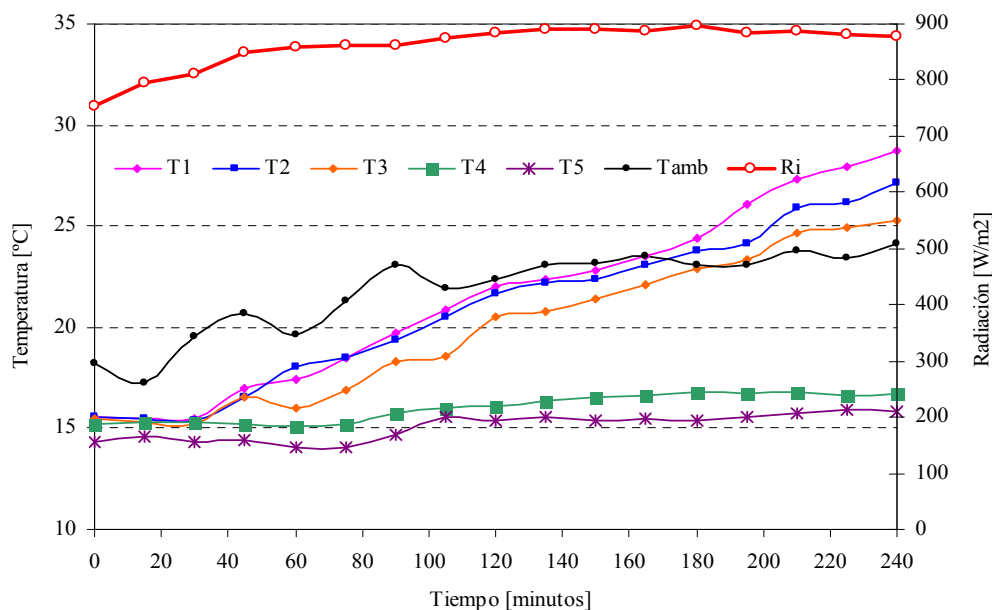


Fig. 7. Valores de temperatura y radiación para la configuración I. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior, si bien se observa un crecimiento proporcional de la temperatura del agua en la zona media-superior del tanque de acumulación, los valores alcanzados no superan los 30 °C . Los valores de T1 y T3 se hallan entre 25°C y 30°C, observándose un incremento entre 10 y 15 °C respecto de los mismos valores al iniciar el ensayo.

Un aspecto interesante a observar es la variación horaria de los incrementos de temperatura en el interior del tanque de acumulación debida exclusivamente a la transferencia de energía por convección natural.

Esta evolución horaria del incremento de temperatura se calcula para cada fracción de volumen asociada a la disposición de los termopares. Esta fracción, representa en cada caso el 20 % del volumen total y la identificamos con el índice de la temperatura correspondiente. Los resultados para la configuración I, se muestran en la Tabla 1.

Subvolumen	Incremento horario de temperatura [°C]	Tiempo (horas)			
		1	2	3	4
1	ΔT_1	1,8	4,6	2,4	4,3
2	ΔT_2	2,4	3,7	2,1	3,3
3	ΔT_3	0,5	4,5	2,4	2,4
4	ΔT_4	-0,1	1	0,7	-0,1
5	ΔT_5	-0,2	1,3	0	0,4
----	$\Delta T_{\text{Ambiente}}$	1,4	2,8	0,1	1

Tabla 1. Registro del incremento horario de la temperatura para cada sección del tanque de acumulación para ensayo. Fuente: elaboración propia

De los resultados registrados en la Tabla 1, podemos observar que las dos primeras fracciones de volumen, es decir un 40% del volumen total, tienen un incremento horario de temperatura que no supera los 5 °C. Este valor no llega a ser significativo para uso doméstico.

En la configuración II, los perfiles de temperaturas registrados son los que se muestran en le Figura 8.

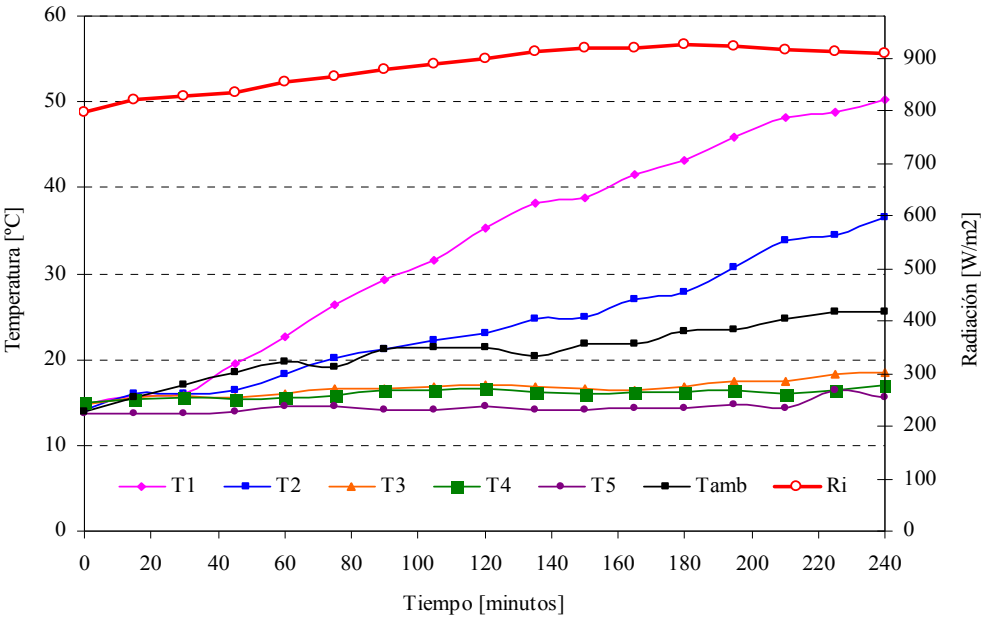


Fig. 8. Valores de temperatura y radiación para la configuración II. Fuente: elaboración propia.

En este caso se observa una mejor respuesta en la zona media-superior del tanque de acumulación. Los valores de temperatura alcanzan valores entre 35 y 50 °C. Se observa un apreciable incremento de temperatura respecto de los valores iniciales al comienzo del ensayo.

También para esta configuración, determinamos la evolución horaria del incremento de temperatura para cada fracción de volumen asociada a la disposición de los termopares. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Subvolumen	Incremento horario de temperatura [°C]	Tiempo (horas)			
		1	2	3	4
1	ΔT_1	7,9	12,7	7,8	7,2
2	ΔT_2	4,1	4,9	4,7	8,8
3	ΔT_3	1,1	1,2	-0,3	1,7
4	ΔT_4	0,7	1	-0,5	0,9
5	ΔT_5	0,7	0	-0,1	1,1
-----	$\Delta T_{\text{Ambiente}}$	5,8	1,6	1,9	2,3

Tabla 2. Registro del incremento horario de la temperatura para cada sección del tanque de acumulación para ensayo. Fuente: elaboración propia

De los resultados registrados en la Tabla 2, podemos apreciar que las dos primeras fracciones de volumen tienen un interesante incremento horario de temperatura que en algunos casos supera los 10 °C. Los valores registrados permiten inferir que esta configuración ofrece mejores resultados que la anterior.

Para la configuración III, los perfiles de temperaturas registrados son los que se muestran en le Figura 9.

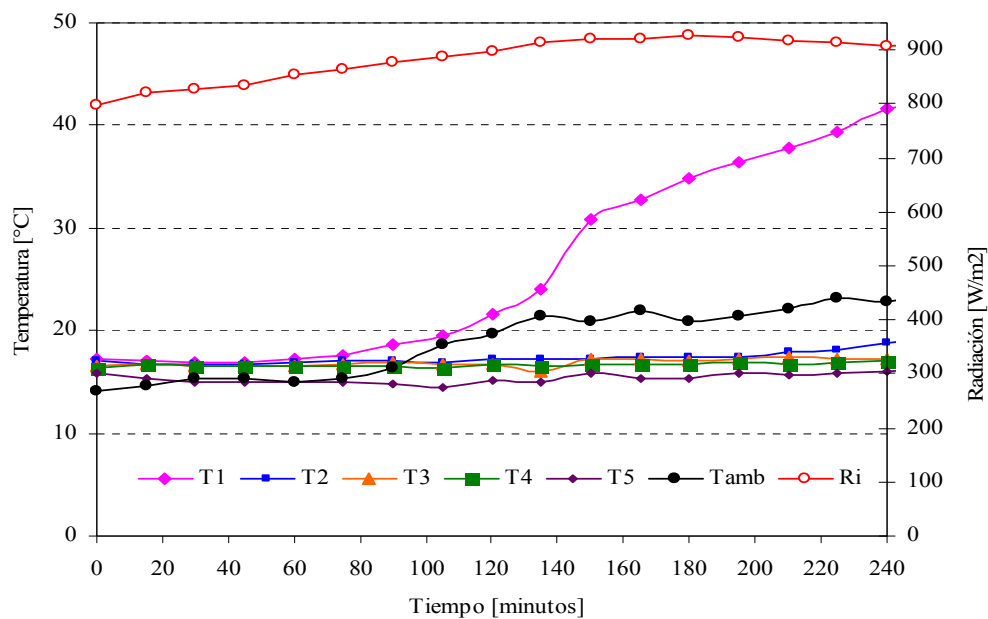


Fig. 9. Valores de temperatura y radiación para la configuración III. Fuente: elaboración propia.

Para esta configuración, se observa que se alcanzan valores óptimos de temperatura pero solamente en la franja superior del tanque de acumulación. En esta zona, los valores registrados son del orden de 40 °C, mientras que en la zona media, el agua no supera la temperatura ambiente.

La evolución horaria del incremento de temperatura para cada fracción de volumen asociada a la disposición de los termopares para la configuración III, se presentan en la Tabla 3.

Subvolumen	Incremento horario de temperatura [°C]	Tiempo (horas)			
		1	2	3	4
1	ΔT_1	0,3	6,4	12,5	5,7
2	ΔT_2	-0,1	0,2	0,3	1,8
3	ΔT_3	0,3	-0,7	1,1	0,6
4	ΔT_4	0,1	0	0,4	0,2
5	ΔT_5	-1	0	1	0,4
-----	$\Delta T_{\text{Ambiente}}$	1,3	6	0	2,2

Tabla 3. Registro del incremento horario de la temperatura para cada sección del tanque de acumulación para ensayo. Fuente: elaboración propia

De los valores registrados en la Tabla 3, se desprende que esta configuración es la menos adecuada ya que se aprecia que sólo la primera fracción de volumen, o sea un 20% del volumen total, tiene un interesante incremento horario de temperatura que llega a superar los 10 °C en la tercera hora de ensayo. Sin embargo, los restantes valores registrados permiten inferir que esta configuración no ofrece los mejores resultados.

Para las tres configuraciones, el incremento horario registrado de la temperatura ambiente fue el típico para la época del año, invierno, y el lugar de trabajo, el valle central de San Fernando del valle de Catamarca. Estos valores pueden apreciarse en las Tablas 1,2 y3. Idéntica situación sucede con los valores de radiación solar, medida en dirección perpendicular al plano del concentrador, como se muestra en las Figuras 7, 8 y 9.

Dada las diferentes respuestas del equipo utilizado para las distintas configuraciones de las conexiones de entrada de agua en el tanque de acumulación, resumimos los valores de temperatura de interés en la Tabla 4. En ésta, se presentan las variaciones de temperatura al cabo de las cuatro horas de ensayo.

En la tabla 4, notamos que para la segunda configuración se obtienen mejores resultados para la temperatura media del agua en la parte media-superior en el tanque de acumulación. Recordemos que esta porción del tanque está asociada a un volumen de aproximadamente 40% del volumen total, con incremento promedio en su temperatura de 30°C respecto de su temperatura al inicio de cada ensayo.

Configuración	$\Delta T1$ [°C]	$\Delta T2$ [°C]	$\Delta T3$ [°C]	$\Delta T4$ [°C]	$\Delta T5$ [°C]	T_A [°C]	R_N [W/m ²]
I	13,1	11,5	9,8	1,5	1,5	5,9	870,8
II	35,6	22,5	3,7	2,1	1,7	11,6	882,4
III	24,8	2,2	1,3	0,7	0,4	9,5	860,4

Tabla 4. Registro de la variación de la temperatura para cada sección del tanque de acumulación para ensayo,

La disponibilidad de ese volumen de agua caliente asociada a ese incremento de temperatura, permite vislumbrar las óptimas prestaciones del equipo de calentamiento diseñado.

En la última columna se presentan los valores promedios de radiación medida en dirección normal al plano del concentrador. Estos valores son los típicos para las latitudes de Puna y prePuna para los meses entre Julio y Agosto.

Para comparar los resultados aquí obtenidos con sistemas de termosifón clásicos con colectores planos largamente estudiados y analizados en numerosos trabajos, (Follari y Fasulo, 1998), es necesario adaptar la normativa vigente para aquellos y así determinar en definitiva la eficiencia del sistema de calentamiento aquí propuesto.

Sin embargo, en esta instancia de la investigación sólo se intenta mostrar como un concentrador solar de foco profundo puede utilizarse como sistema de captación de energía e integrarse a un equipo solar de calentamiento de agua. Además, hay que tener presente que ésta no es la única función del concentrador en manos del usuario-operador, ya que primaria y prioritariamente esta destinado a procesos de cocción de alimentos.

CONCLUSIONES

Luego de los diferentes ensayos realizados se confirma la factibilidad de integrar un concentrador solar a un equipo de calentamiento de agua como mecanismo de captación de energía.

Se puede inferir que en la construcción del equipo de calentamiento se ha logrado optimizar el proceso de transferencia de energía desde el Sol como fuente principal hasta el fluido portador: el agua caliente para consumo.

Se observa una notable dependencia del incremento de la temperatura en la parte media-superior del tanque de acumulación, con la disposición de las conexiones de agua entre la caldera y el tanque.

Se destaca como la conexión más adecuada aquella que permite el ingreso del agua por la parte superior, introduciéndose en la primera sección asociada a un volumen de 45 litros, aproximadamente. En esta, se observa un importante salto térmico, que permitirá disponer de agua caliente para uso doméstico.

Aunque los resultados presentados comprueban la posibilidad de suministrar energía a un equipo de calentamiento de agua con un concentrador solar tipo parabólico, y que se obtienen resultados por demás satisfactorios, persisten aún algunos detalles de construcción, diseño y operación que deben ser mejorados a los fines de obtener un mejor desempeño del equipo.

En posteriores ensayos se pretende realizar algunos ajustes de diseño con el propósito obtener una mejor evaluación del equipo y así ofrecer una sólida alternativa en sistemas de calentamiento de agua, teniendo en cuenta la política de consumo de un microemprendimiento o un comedor comunitario.

REFERENCIAS

- Saravia L. (2004), Diseño Gráfico de Concentradores de Tipo CPC, AVERMA, Vol 8 No 1 ISSN 03295184. Argentina
- Aramburu, V. Diaz, N. Iriarte, A. Saravia, L. (2006). Calentamiento de Agua por Convección Natural utilizando un Concentrador Solar. Primeras Experiencias. Avances en Energías Renovables y Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables. Vol. 10 p 15. ISSN 0329-5184. Argentina.
- Estrada Gasca, Claudio. Cabanillas Lopez, Rafael E. Strachman, John W. (2000). Concentración Solar. ISES Forum 2000. México.
- Manrique Valdez, J. A. (2000). Transferencia de Calor. Oxford University Press. México.
- Levenspiel, O. (1998). Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor. Ed. Reverté. España.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, Wiley Interscience, New York.
- Follari, J. Fasulo, A. (1998), Veinte Años con los Calefones Solares Argentinos. Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5, pp 1-6, ISSN 0328-932X. Argentina

ABSTRACT: In this work of experimental character the thermal behavior of a solar equipment for the hot water production is described that has by main component a parabolic solar concentrator of deep center. The results for different dispositions appear from the main water connections. The works to carry out with a tank of storage to the height of a type house, isolated thermally and connected directly to the boiler of the concentrator. During the made tests, of four hours each one, different profiles from the temperature inside the tank of storage for the different used configurations are determined. The obtained results allow to strengthen the hypothesis of the utility of the concentrator like pick up mechanisms and to integrate it to a system of water heating, and to obtain hot water to optimal average temperature for different domestic activities in urban and rural communities.

Keywords: solar energy, water heating, profile of temperature.